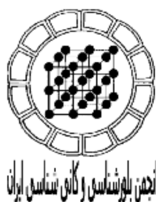
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران
سال بیست و هفتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۸، از صفحهٔ ۴۹۵ تا ۵۰۴



ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی نوارهای $Co_{68.5-x}Fe_4W_xSi_{16.5}B_{11}$ (x= 0.8, 2) در حالت‌های بی شکل و بلورینه

احمد امیرآبادی زاده*، معظمه حسن زاده، رضا سرحدی، محمدرضا رسولی

آزمایشگاه تحقیقاتی مغناطیس و ابررسانایی، گروه فیزیک دانشگاه بیرجند، بیرجند

(دریافت مقاله: ۹۷/۴/۵، نسخه نهایی: ۹۷/۸/۲۸)

چکیده: در این پژوهش برای نخستین بار نوارهای مغناطیسی بر پایه کبالت شامل تنگستن با ترکیب‌های $Co_{67.7}Fe_4W_{0.8}Si_{16.5}B_{11}$ و $Co_{66.5}Fe_4W_2\ Si_{16.5}B_{11}$به روش نخریسی در آب ساخته شدند. الگوهای پراش پرتو ایکس این نوارها نشان می‌دهد که آنها بی‌شکل هستند. دمای بلورینگی، آنتالپی و ظرفیت گرمایی ویژه نوارها با استفاده از داده‌های گرماسنجی محاسبه و مقایسه شد. ویژگی مغناطیسی نوارها، دمای کوری، مغناطوتنگش و همچنین میزان سختی نوارها به روش ریزسختی سنجی تعیین شد که نتایج نشان می‌دهد که این نوارها فرومغناطیس نرم هستند. نوارها با بازپخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی از حالت بی‌شکل بودن خارج و بلورینه شدند. در اثر بلورینگی، ناهمسانگردی مغناطوبلوری در نوارها ظاهر شده و موجب تغییر ویژگی‌های مغناطیس آنها از فرومغناطیس نرم به فرو مغناطیس سخت شده است. این نتایج با توجه به گشتاور مغناطیسی و شعاع اتمی کبالت و تنگستن توجیه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *نوارهای مغناطیسی بی‌شکل؛ ویژگی‌های ساختاری؛ ویژگی‌های مغناطیسی؛ دمای بلورینگی.*

مقدمه

آلیاژهای فلزی بی‌شکل (شیشه‌های فلزی) با روش‌های گوناگون و با ترکیبات مختلف ساخته می‌شوند. بیشتر آنها ترکیبی از عناصر واسط و خاکی نادر با ساختار بی‌شکل و فرومغناطیس نرم هستند. این نوارها دارای کاربردهای بسیاری در برقراری ارتباط از راه دور با حسگرهای مغناطیسی هستند [۲،۱]. همچنین این نوارها دارای ویژگی ناهمسانگردی مغناطیسی، به عنوان یکی از مهمترین پارامترها در کنترل مغناطیدگی و نفوذپذیری مغناطیسی و ویژگی‌های مغناطیسی دینامیکی هستند و منجر به بهینه کردن ویژگی‌های مغناطیسی می‌شوند [۳]. به تازگی ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی، ترمودینامیکی و مکانیکی نوارهای فرومغناطیس نرم با پایه کبالت، به دلیل ویژگی‌های فیزیکی منحصر به فرد و کاربرد آنها در فناوری بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۴]. یکی از موارد بسیار مورد توجه، ترکیب عناصر متفاوت و تاثیر تغییر مقدار آنها بر ویژگی‌های مغناطیسی نوارها بوده است [۵]. همچنین افزودن مواد مختلف و ساخت نوارها به روش‌های متفاوت و تاثیر آن بر ویژگی‌های ترمودینامیکی، مغناطیسی و مکانیکی نوارها موضوع پژوهش‌های بسیار بوده است [۷،۶]. تنگستن یکی از مقاوم‌ترین عناصر موجود در جدول تناوبی است. این فلز با داشتن نقطه ذوب بالا در صنعت فلزنگاری کاربرد ویژه‌ای دارد و انتظار می‌رود که ویژگی‌های مغناطیسی و ترمودینامیکی نوارهای بر پایه کبالت با افزودن تنگستن به آنها تغییر یابد. روش‌های متفاوتی برای ساخت نوارهای مغناطیسی وجود دارد. متداول‌ترین روش، مذاب ریسی با دیسک مبرد (Chill Block Melt Spinning(CBMS)) برای تولید نوارهای پیوسته و طویل است که در مرجع [۳] به تفضیل توضیح داده شده است. یکی از ویژگی‌های نوارهای مغناطیسی برپایه کبالت دمای بلورینگی آنهاست. اگر نوارهای مغناطیسی برای مدت کوتاهی در این دما

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۶۳۲۲۰۲۳۰۱، نمابر: ۰۵۶۳۲۲۰۲۰۴۱، پست الکترونیکی: aamirabadizade@birjand.ac.ir

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]

قرار بگیرند از حالت بی‌شکل به حالت بلورین تبدیل می‌شوند.

در این پژوهش، ضمن معرفی نوارهای بی‌شکل برپایه کبالت دارای تنگستن که برای نخستین بار ساخته شده اند، ویژگی های ساختاری، مغناطیسی و ترمودینامیکی و همچنین سختی مکانیکی آنها بررسی شده است. همچنین با تعیین دمای بلورینگی و بازپخت نمونه در این دما ویژگی های مغناطیسی نوارها در حالت بی شکل و بلوری مقایسه شده است.

بحث و بررسی

روش ساخت

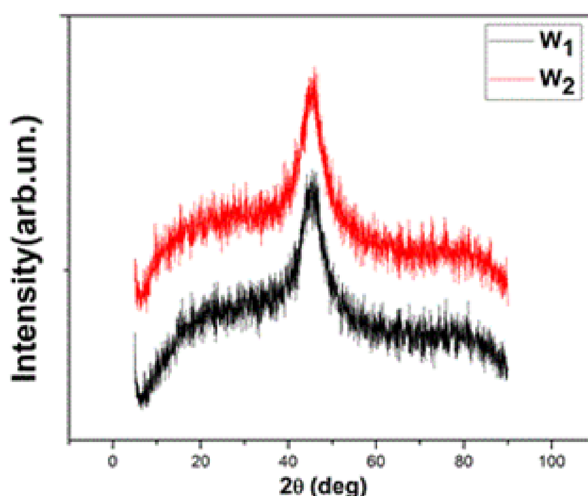
دو نوار مغناطیسی برپایه کبالت، یکی با ترکیب شیمیایی $Co_{67.7}Fe_4W_{0.8}Si_{16.5}B_{11}$ با کد اسمی W_1 و دیگری با ترکیب $Co_{66.5}Fe_4W_2Si_{16.5}B_{11}$ با کد اسمی W_2 با استفاده از انجماد سریع به روش مذاب ریسی با دیسک مبرد ساخته شد. آلیاژسازی و مذاب ریسی در دستگاه دو منظوره ای که در جهاد دانشگاهی شریف طراحی و ساخته شده است انجام شد. مواد اولیه شامل آهن (Fe)، کبالت (Co)، سیلیسیم (Si)، بور (B)، تنگستن (W) با خلوص بیشتر از ۹۹٫۵٪ بودند. عملیات آلیاژسازی در دستگاهی دو منظوره، که قابلیت ذوب القایی و همچنین عملیات ذوب ریسی در حضور گاز محافظ را دارد در بوته هایی از جنس نیترید بور انجام شد. پیش از عملیات آلیاژسازی و ذوب ریسی، هوای داخل محفظه تخلیه شده و با گاز آرگون با خلوص۹۹٫۹۹۹٪ پر شده بود. شرایط تهیه هر دو آلیاژ یکسان و به طوری انتخاب شد که نوارهایی با عرض کمتر از ۱ میلیمتر و ضخامت حدود ۳۰-۲۰ میکرومتر به دست آیند. سرعت بالای انجماد تشکیل ساختار بی شکل نمونه ها را تضمین می‌کرد. برای مقایسه بهتر، ویژگی های ظاهری دو نوار $Co_{67.7}Fe_4W_{0.8}Si_{16.5}B_{11}$ و $Co_{66.5}Fe_4W_2Si_{16.5}B_{11}$ و نوار مغناطیسی بر پایه کبالت با ترکیب $Co_{68.5}Fe_4Si_{16.5}B_{11}$ با کد اسمی SA در جدول ۱، لیست شده اند.

ویژگی های ساختاری

برای تعیین ساختار نوارهای W_1 و W_2 از پراش پرتو ایکس (XRD) با پراش سنج DISCOVER D_8(Bruker) با تابش C_u-K_α با طول موج ۱٫۵۴۱۸ آنگستروم استفاده شد. الگوهای پراش با قله ی پراش پهن در شکل ۱ نشان می دهد که هر دو نوار W_1 و W_2 فاقد نظم بلند برد و بی شکل هستند. مواد فرومغناطیس به صورت بی شکل به دلیل نداشتن ناهمسانگردی بلوری دارای نفوذپذیری مغناطیسی بالاتر و مغناطیس اشباع بیشتری هستند. همچنین بی شکل بودن نوارها منجر به پاسخ امپدانس مغناطیسی و کاربرد بسیار این نوارها در ساخت حسگرهای مغناطیسی می شود.

جدول۱ ویژگی‌های ظاهری نوارهای W_1 و W_2.

نمونه	$Co_{68.5}Fe_4Si_{16.5}B_{11}$	$Co_{66.5}Fe_4W_2Si_{16.5}B_{11}$	$Co_{67.7}Fe_4W_{0.8}Si_{16.5}B_{11}$
نام نمونه	SA	W_2	W_1
ضخامت (µm)	۲۴ ± ۰٫۰۱	۲۴ ± ۰٫۰۱	۲۶ ± ۰٫۰۱
پهنا (mm)	۰٫۷۱±۰٫۰۱	۰٫۷۲±۰٫۰۱	۰٫۷۲±۰٫۰۱



شکل۱ الگوی پراش پرتو ایکس نوارهای W1 و W2، پیش از بازپخت در دمای بلورینگی

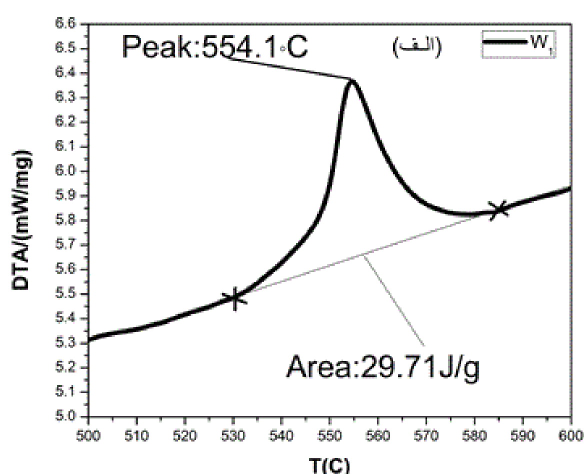
[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]

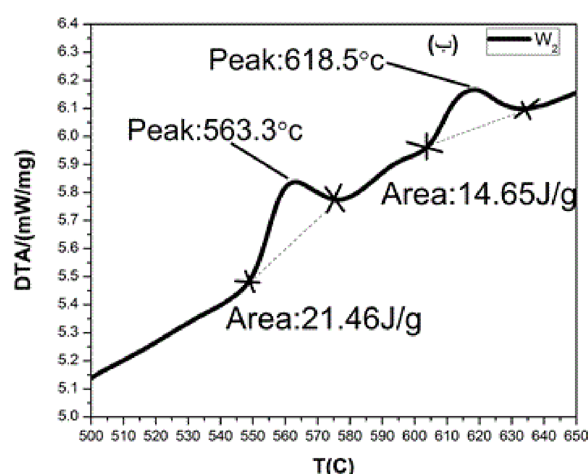
ویژگی‌های ترمودینامیکی

به منظور اندازه گیری آنتالپی، گرمای ویژه، و دمای بلورینگی نوارهای مغناطیسی بر پایه کبالت W_1 و W_2 از گرماسنجی افتراقی (DTA) و گرماسنجی روبشی افتراقی Differential Scanning Calorimetry (DSC) با دستگاه مدل NETZSCH SAT PC/PG استفاده شده که نتایج در جدول ۲ گزارش شده است. این نتایج با ویژگی های ترمودینامیکی نوارهای مغناطیسی SA [۹،۸] مقایسه شده‌اند. قله منحنی گرماسنجی دمای بلورینگی را تعیین می کند[۱۰]. شکل‌های ۲ الف و ب منحنی‌های گرماسنجی نوارهای W_1 و W_2 را نشان می‌دهد. در شکل ۲ الف به روشنی دیده می شود که این منحنی برای نوار W_1 یک قله در دمای ۵۵۴/۱ درجه سانتیگراد دارد که این دما، دمای بلورینگی آن است. هم چنین در شکل ۲ ب برای نوار W_2 شاهد دو قله، یکی در دمای ۵۶۳/۳ و دیگری در دمای ۶۱۸/۵ درجه سانتیگراد هستیم که دمای بلورینگی آن هستند. دمای بلورینگی یکی از کمیت های بسیار مهم ترمودینامیکی است، زیرا ویژگی های مغناطیسی و فیزیکی پیرامون آن بسیار متغیر هستند. از آنجا که در نمونه W_1 مقدار تنگستن کمتر از نمونه W_2 است و تنگستن فلزی سخت، سنگین و دارای بالاترین درجه ذوب در بین عنصرهاست و استحکام خود را در دماهای بالا حفظ می کند، بنابراین افزایش مقدار آن در نمونه دوم نسبت به نمونه اول منجر به بالاتر بودن دمای بلورینگی آن شده است. این نتیجه با دمای بلورینگی نوارSA نیز همخوانی دارد [۸]، به طوری که دمای بلورینگی آن از نوار W_2 و همچنین نوار W_1 کمتر است. برای محاسبه ی آنتالپی، سطح زیر قله منحنی گرماسنجی اندازگیری می شود[۱۱]. با توجه به شکل ۲ الف، مقدار به دست آمده برای نوار W_1 برابر با $\Delta H = ۲۹/۷۱ J/g$ است. باتوجه به شکل ۲ ب برای نوار W_2 دو مقدار $\Delta H = ۲۱/۴۶ J/g$ و $\Delta H = ۱۴/۶ J/g$ برای آنتالپی محاسبه می شود. تعیین ظرفیت گرمایی ویژه به روش بیان شده در مراجع [۱۱،۱۰] نیاز به اندازه گیری سه نمونه، نمونه خالی بدون هیچ اطلاعاتی، نمونه استاندارد با ظرفیت گرمایی ویژه مشخص و البته نمونه مورد بررسی است. بر این اساس، مقادیر ظرفیت گرمایی نوارهای SA، W_1 و W_2 به ترتیب برابر با ۰/۴۶ J/gK [۸]، ۰/۲۷ J/gK و ۰/۲۳ J/gK بدست آمد. یکی از عوامل موثر بر ظرفیت گرمایی ویژه جرم‌مولی است. ظرفیت گرمایی کبالت، C_P = ۰/۴۲۱ J/gK، از ظرفیت گرمایی تنگستن، C_P = ۰/۱۳۲ J/gK، بیشتر است. بنابراین مقدار بیشتر کبالت در نمونه SA نسبت به دو نمونه W_1 و W_2 منجر به تفاوت مقدار ظرفیت گرمایی در نوارها شده است.

جدول۲ ویژگی های ترمودینامیکی دو نوار W_1 و W_2، به دست آمده از منحنی گرماسنجی.

نام نمونه	SA	W_2	W_1
دمای بلورینگی(°C) Tg	۵۱۲/۱	۶۱۸/۱۵- ۵۶۳/۳۰	۵۵۴/۱۰
آنتالپی(ΔH(J/g	۵۶/۳۳	۲۱/۴۶- ۱۴/۶۵	۲۹/۷۱
ظرفیت گرمایی ویژه(Cp(J/gK	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۲۷





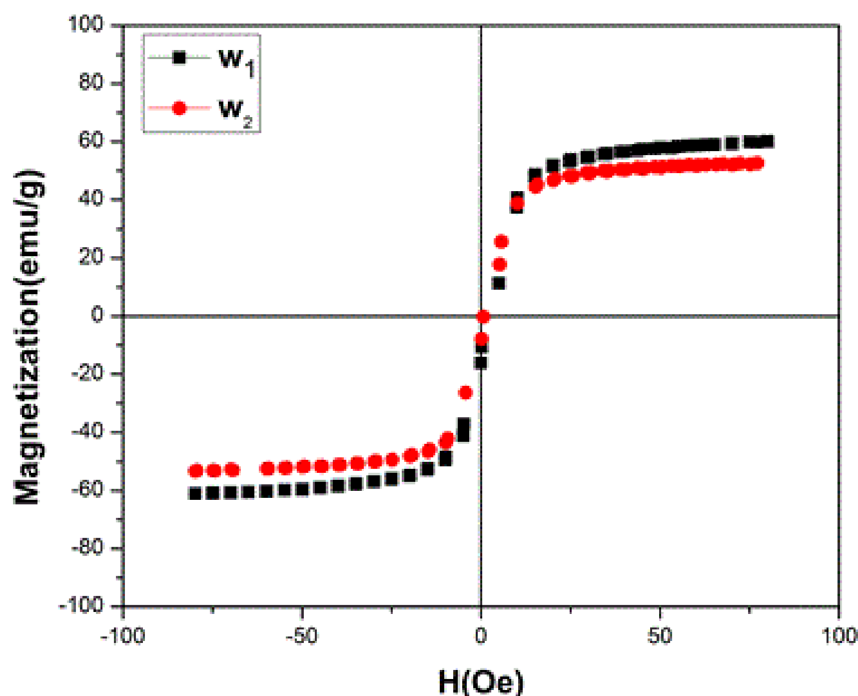
شکل ۲ منحنی گرماسنجی نوارهای مغناطیسی الف) W1 و ب) W2

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]

ویژگی‌های مغناطیسی

ویژگی‌های مغناطیسی نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 با استفاده از مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی VSM, Lake Shore 7407 در دمای اتاق بررسی شد. در شکل ۳ منحنی پسماند مغناطیسی آنها نشان داده شده است. به منظور مقایسه بهتر مقادیر مغناطش اشباع M_S، میدان وادارندگی H_C و مغناطش مانده M_r در نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 به دست آمده از منحنی‌های شکل ۳ در جدول ۳ گزارش شده است. به منظور بررسی تاثیر افزودن تنگستن بر ویژگی های مغناطیسی، این نتایج با نمونه SA [۱۲] مقایسه شده‌اند.

با توجه به منحنی پسماند مغناطیسی نوارهای W_1 و W_2 نشان داده شده در شکل ۳، نوار مغناطیسی W_1 مغناطش اشباع بیشتری نسبت به نوار مغناطیسی W_2 دارد که مغناطش بیشتر به مقدار بیشتر کبالت در نمونه W_1 مربوط است. یون کبالت گشتاور مغناطیسی بزرگتری نسبت به تنگستن دارد و به شدت مغناطیده است. تغییر مقدار آن در نوارهای مورد بررسی بر ویژگی مغناطیدگی نوار های بر پایه کبالت تاثیر به سزایی دارد. مقایسه این نتایج با نوار مغناطیسی SA نقش کبالت در ویژگی مغناطیدگی را به خوبی نشان می دهد. نوارهای W_1 و W2 به علت داشتن مقدار کبالت کمتر نسبت به نوار SA دارای مغناطش اشباع کمتری هستند.



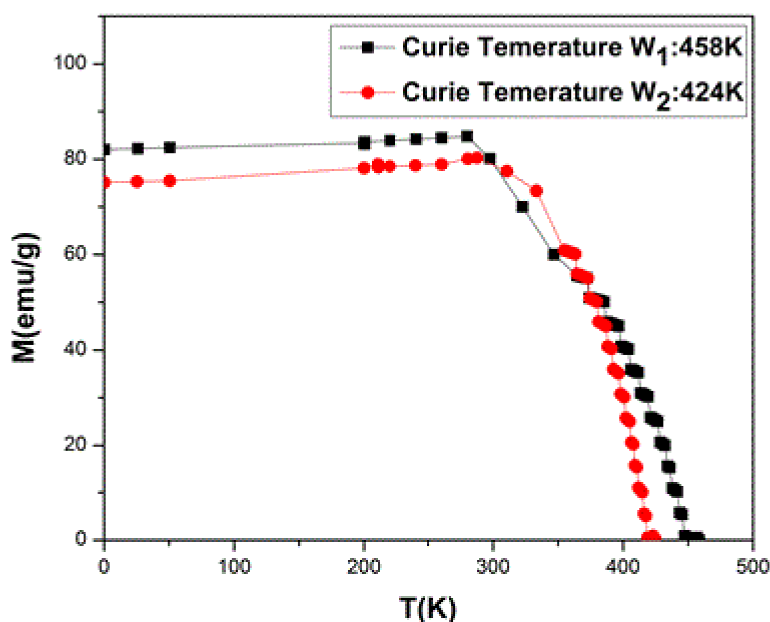
شکل۳ منحنی پسماند مغناطیسی نوارهای مغناطیسی بی شکل W1 و W2 در دمای اتاق، پیش از باز پخت در دمای بلورینگی

جدول۳ ویژگی های مغناطیسی دو نوار W1 و W2 در دمای اتاق، پیش از بازپخت در دمای بلورینگی

نمونه	میدان وادارندگی Hc (Oe)	مغناطش مانده M_r (emu/g)	مغناطش اشباع M_s (emu/g)	ضریب مغناطوتنگش λ_s	دمای کوری Tc (K)
SA	۰/۴۹	۶۳/۷۳	۷۶	$-۰/۰۶ \times ۱۰^{-۶}$	۶۷۴
W_2	۰/۴۹	۴۶/۱۲	۵۳/۳۴	نا چیز	۴۲۴
W_1	۰/۴۲	۵۰/۲۵	۶۱/۱۴	$-۰/۱۲ \times ۱۰^{-۶}$	۴۵۸

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]

یکی از پارامترهای مهم مواد فرومغناطیس، دمای کوری آنهاست. روش های متفاوتی برای اندازه گیری دمای کوری یک نمونه فرومغناطیس وجود دارد. در اینجا از منحنی مغناطش نسبت به دما (M-T) اندازه گیری شده توسط مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی Lake Shore 7407 (VSM) استفاده شد. میدان اعمالی در اندازه گیری ها ۱۰۰۰Oe بود و نمونه به صورت موازی در میدان قرار می‌گرفت. افزایش دما باعث کاهش ویژگی مغناطیسی می شود تا جایی که مغناطش نمونه به صفر می رسد. نمودار M-T مربوط به نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 در گستره‌ی دمایی ۱۰۰ تا ۵۰۰ کلوین در شکل ۴ نشان داده شده است. در نوار مغناطیسی W_1 در دمای بالاتر از ۴۵۸K، گذار از حالت فرومغناطیس به پارامغناطیس رخ داده است که این دما، دمای کوری نوار مغناطیسی W_1 است. در نوار مغناطیسی W_2، گذار از حالت فرومغناطیس به پارامغناطیس در دمای ۴۲۴K صورت می گیرد. چنانکه دیده می شود در نمونه W_1 گذار در دمای بالاتری نسبت به نمونه W_2 رخ داده است. با توجه به اینکه مقدار عناصر سیلیسیم و بور در هر دو نمونه یکسان است. تفاوت مقادیر مغناطش اشباع و دمای کوری در دو نمونه مربوط به تفاوت مقادیر کبالت در آنهاست. این نتایج با توجه به دمای کوری نوار SA نقش بارز کبالت بر دمای کوری را نشان می دهد[۸،۹]. تغییر در ویژگی مغناطیسی آلیاژها در اثر جایگذاری عناصر مختلف به عوامل متعددی مانند تفاوت در ساختار الکترونی عناصر جایگزین، تغییر پیکربندی حالت نوار، تغییر فاصله بین اتمی به خاطر اختلاف در شعاع اتمی عناصر جایگزیده، نسبت داده شده است [۱۳]. ضریب مغناطوتنگش اشباع λ_s نوارهای مغناطیسی به ترکیب آنها بستگی دارد [۱۴]. برای اندازه گیری ضریب مغناطوتنگش نوارهای مورد بررسی از روش پیمانه کرنشی استفاده شد [۱۵-۱۷]. مقادیر ضریب مغناطوتنگش در نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 در جدول ۳ بیان شده است که برای نوارهای مغناطیسی با ترکیب مشابه این نمونه، مانند نوار SA مورد انتظار است [۱۸]. ضریب مغناطوتنگش نزدیک به صفر نقش بسیار مهمی در استفاده از این نوارها برای حسگرهای مغناطیسی و پاسخ امپدانس مغناطیسی دارد. از نظر علمی مواد با مغناطوتنگش نزدیک به صفر به علت توزیع مغناطوکشسانی رفتار مغناطیسی بهتری نشان می دهند. در مقایسه با موادی که مغناطوتنگش مخالف صفر دارند باعث تخریب رفتار فرومغناطیسی نرم می شوند. مغناطوتنگش بسیار ناچیز به دست آمده برای نوارها با ویژگی مغناطیسی آنها که در بخش ویژگی‌های ساختاری بیان شد همخوانی دارد.



شکل ۴ منحنی تغییرات دمایی مغناطش برای نوارهای مغناطیسی W1و W2 .

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]

ویژگی‌های مکانیکی

یکی از ویژگی های مکانیکی نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2، با استفاده از آزمایش ریزسختی سنجی به روش ویکرز براساس استاندارد ASTME384-17، با نیروی ۲۵gf با فرورونده هرم الماسه، در شرایط آزمایشگاهی با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بررسی شد. آزمون ریزسختی ویکرز از متداولترین آزمون های ریز سختی سنجی بوده و اصول آن مانند آزمون ویکرز استاندارد است، با این تفاوت که به جای نیروی فرورونده چند کیلوگرمی، نیروها در حد گرم هستند. این آزمون با میکروسکوپ های متالورژیکی که برای این کار طراحی شده اند، انجام می شود. فرورونده هرم الماسی کوچک روی صفحه یک عدسی شیئی ویژه جاسازی شده است. سطح نمونه ها برای بررسی‌های ریزنگاری پرداخت و براق شد. مشاهده قطعه زیر میکروسکوپ با بزرگ نمایی های مختلف، امکان متمرکز کردن عدسی بر دانه های مجزای ماده و فروکردن هرم الماسی با نیروی کم در آن نقطه را فراهم می سازد. پس از آن قطر لبه مربع شکل فرورفتگی به دقت اندازه گیری و عدد سختی با استفاده از رابطه زیر [۱۹] محاسبه می شود:

$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2} \qquad (1)$$

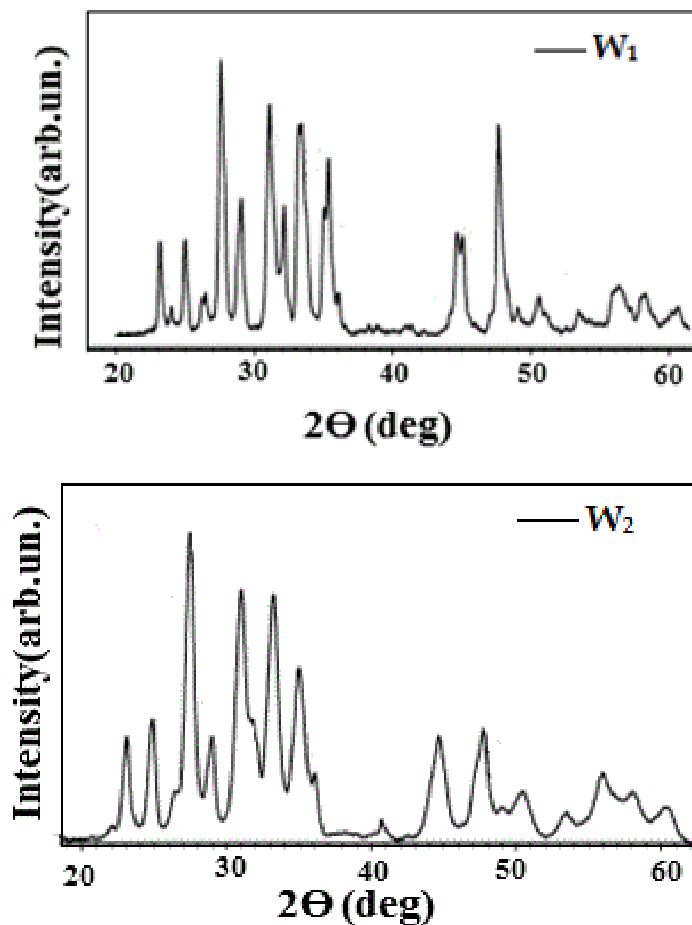
که، HV عدد سختی ویکرز با دندانه الماسه هرمی‌شکل برحسب کیلوگرم بر میلی متر مربع، F بار وارده بر حسب کیلوگرم و d قطر مربع فرو رفتگی برحسب میلی متر است. نتایج آزمایش ریزسختی سنجی برای نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 در جدول ۴ بیان شده است. چنانکه دیده می‌شود با افزودن مقدار بیشتر تنگستن به نوار مغناطیسی W_2 که منجر به کاهش مقدار کبالت در آن شده است، سختی نوارها به طور میانگین کاهش یافته است. بنابراین نوار W_1 تحمل بار بیشتری نسبت به نوار W_2 دارد.

ویژگی های ساختاری و مغناطیسی در حالت بلورینگی

چنانکه بیان شد نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 در دمای اتاق بی شکل هستند. با توجه به بخش ویژگی‌های ترمودینامیکی: دمای بلورینگی برای نوار W_1، ۵۵۴٫۱ درجه سانتیگراد است و برای نوار W_2، دو دمای بلورینگی وجود داد که یکی در ۵۶۳٫۳۰ درجه و یکی در دمای ۶۱۸٫۵ درجه سانتیگراد است. از این رو، نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه بازپخت شدند. در الگوهای پراش پرتو ایکس شکل ۵، و چندین قله وجود دارد و هر دو نوار مغناطیسی W_1 و W_2 با بازپخت در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد از حالت بی شکل در آمده اند. فازهای مربوط به طیف XRD هر دو نوار با قطعیت قابل شناسایی نیستند و تنها نشان از حالت بلوری نوارها پس از باز پخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی دارند. کاهش تنش داخلی در نمونه ها به دلیل بهبود ویژگی های بلوری در اثر بازپخت در دمای بالاست. انرژی گرمایی می تواند باعث قرارگیری بهتر اتم ها در جایگاه های خود در ساختار بلوری ماده شود. همچنین نفوذ دانه ها و ادغام آنها در یکدیگر از نتایج افزایش انرژی گرمایی است. این فرایند نقایص بلوری در ماده را کاهش می دهد[۲۰]. همچنین از آنجا که مواد فرومغناطیس به صورت بی شکل دارای رفتار مغناطیسی متفاوتی نسبت به حالت بلورینه هستند. بازپخت نمونه ها منجر به کاهش نفوذ پذیری مغناطیسی و افت ویژگی-های مغناطیسی در اثر به وجود آمدن ناهمسانگردی مغناطوبلوری می شود.

جدول۴ نتایج ریزسختی سنجی برای دو نوار W_1 و W_2 .

نمونه		W_2	W_1
موقعیت سختی سنجی		مغز	مغز
نیروی اعمالی(gf)		۲۵	۲۵
عدد سختی(HV)	سختی ۱	۹۴۶	۱۰۰۳
	سختی ۲	۱۰۰۳	۱۰۳۳
	سختی ۳	۹۷۴	۹۷۴
	میانگین	۹۷۴	۱۰۰۳

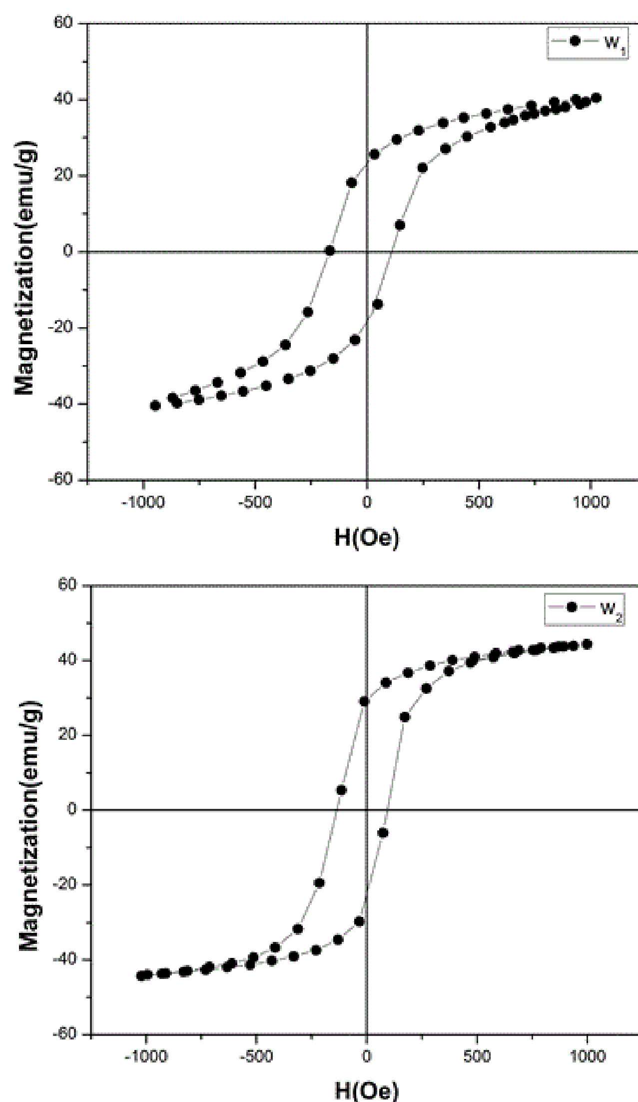


شکل ۵ الگوی پراش پرتو ایکس نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 پس از بازپخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی

به منظور تعیین ویژگی‌های مغناطیسی، نوارهای W_1 و W_2 پس از بازپخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی، از مغناطیس سنج ارتعاشی استفاده شد.

چنانچه در شکل ۶ دیده می شود در این نوارها، پس از قرار گرفتن در دمای بالاتر از دمای بلورینگی (۶۰۰ درجه سلسیوس) به علت تغییر ریز ساختاری نمونه و به وجودآمدن ناهمسانگردی مغناطو بلوری، مقدار میدان وادارندگی افزایش یافته و نمونه از حالت فرومغناطیس نرم به حالت فرومغناطیس سخت تبدیل شده است. در جدول ۵ مقادیر مغناطش اشباع MS، میدان وادارندگی H_C و مغناطش مانده M_r در نمونه های W_1 و W_2 و SA پس از بازپخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی آورده شده است. وجود ناهمسانگردی القایی نسبتا بالا در نوارهای مغناطیسی، در اثر بازپخت، منجر به افزایش مراکز میخکوب شده و افزایش تنش داخلی می شود. بنابراین نوارهای مغناطیسی ویژگی نرم بودن خود را از دست می دهند. با بررسی نتایج به دست آمده، مقدار مغناطش اشباع در نمونه W_1 پسش از بازپخت از نمونه W_2 بیشتر بوده است که ویژگی مغناطیسی آن مربوط به مقدار بیشتر کبالت در نمونه W_1 نسبت به W_2 است. پس از بازپخت دو نمونه، با وجود میخکوب شدن دیواره های حوزه و به وجود آمدن ناهمسانگردی مغناطوبلوری همچنان مقدار بیشتر کبالت در نمونه W_1 نقش اصلی را در مغناطیدگی دارد. مقدار بیشتر کبالت در نوار SA نسبت به دو نوار W_2 و W_1 تاییدی بر اثر یون کبالت بر مغناطیس اشباع است. پس از بازپخت میدان وادارندگی در نمونه W_1 از نمونه W_2 بیشتر است، بنابراین این نمونه پس از بازپخت نسبت به نمونه W_2 فرومغناطیس سخت تری است. این نتیجه در مقایسه با میدان وادارندگی نوار SA که دارای مقدار بیشتر یون کبالت نسبت به هر دو نمونه است، همخوانی دارد.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]



شکل ۶ منحنی پسماند مغناطیسی نوارهای مغناطیسی W_1 و W_2 پس از بازپخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی.

جدول ۵ ویژگی‌های مغناطیسی دو نوار W1 و W2 پس از بازپخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی.

نمونه	میدان وادارندگی H_C (Oe)	مغناطش مانده M_r (emu/g)	مغناطش اشباع M_s (emu/g)
SA	۱۸۱٫۲۷	۴۷٫۲۲	۷۲٫۲۰
W_2	۱۰۱٫۴۴	۲۸٫۶۴	۳۹٫۵۶
W_1	۱۳۳٫۹۶	۳۰٫۶۸	۴۷٫۹۷

برداشت

در این پژوهش برای نخستین بار، نوارهای مغناطیسی بر پایه کبالت با دو مقدار متفاوت تنگستن بررسی شدند. نتایج نشان می دهد که این نوارها پیش از بازپخت در دمای بلورینگی، بی شکل و فرومغناطیس نرم با ضریب مغناطوتنگش نزدیک به صفر هستند. همچنین ویژگی های ترمودینامیکی نوارها مانند ظرفیت گرمای ویژه و آنتالپی، ویژگی های مغناطیسی مانند دمای کوری و ویژگی های مکانیکی مانند میزان سختی نوارها بررسی و تفسیر شدند. با توجه به اینکه مقدار عناصر سیلیسیم و بور در هر دو نمونه یکسان است، تفاوت مقادیر مغناطش

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]

اشباع و دمای کوری در دو نمونه مربوط به تفاوت مقادیر کبالت است. با بازپخت نوارها در دمای بالاتر از دمای بلورینگی، نوارها از فرومغناطیس نرم به فرومغناطیس سخت تبدیل شده‌اند. میدان وادارندگی برای نوار W_1 از ۰/۴۲ اورستد به ۱۳۳/۹۶ اورستد و برای نوار W_2 از ۰/۴۹ اورستد به ۱۰۱/۴۴ اورستد تغییر کرده است. همچنین مغناطیس اشباع پیش از بازپخت و هم پس از آن در نمونه W_1 نسبت به W_2 به علت وجود مقدار بیشتر یون کبالت بیشتر است. الگوی XRD نوارها نشان می دهد که نوارها در اثر بازپخت در دمای بالاتر از دمای بلورینگی از حالت بی شکل خارج شده و بلورینه شده اند. دلیل تفاوت ویژگی های ساختاری و مغناطیسی نوارهای W_1 و W_2 در حالت بی شکل و بلورینه به نقش بسیار مهم کبالت و تنگستن موجود در نوارها مربوط است.

مراجع

[1] Kurlyandskaya G.V., Barandiarán J. M., VázquezM., GarcíaD &Dmitrieva N.V.,*"Influence of geometrical parameters on the giant magnetoimpedance response in amorphous ribbons", Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 215-216 (2000) 740-742.

[2] Graham C. D & Egami Jr. T. ,*"Magnetic properties of amorphous alloys Annual"*, *Review of Materials Science* 8(1) (1987) 423-457.

[3] Amirabadizadeh A., Rasouli M.R., Mardani R., Sarhadi R.,*"Investigation of magnetic anisotropy in Co-based microwires"*, Irananin Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (3) (2016)587-594.

[4] Kolano R., Kuzminski M., Gawior W., Wojcik N. *"Induced transverse magnetic anisotropy and domain structure in Co-based amorphous ribbons"*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials**,** 133 (1–3) (1994) 321-324.

[5] Kolano R., Gawiora W.W., Wojcik N., Kuzminski M., *"Induced transverse magnetic anisotropy in Co-based amorphous alloys with different values of the saturationinduction"***,** Journal of Magnetism and Magnetic Materials 140 (1995) 343-344.

[6] Hernando B., Sa´nchez M. L., Prida V. M & Tejedor M. *"Magnetoimpedance effect in amorphous and nanocrystalline ribbons"*, Journal of Applied Physics 90(2001) 4783.

[7] A talay S., *"Comparative study of magnetoimpedance effect in current and field annealed ($(Co_{0.9}Fe_{0.05}Ni_{0.05})_{75}Si_{15}B_{10}$ amorphous ribbons"*, Physica B: Condensed Matter 368 (1–4) (2005) 273-278.

[8] Liu J., Cao F., Xing D., Zhang L., Qin F., Peng H., Xue X., and Sun J., *"Enhancing GMI properties of melt-extracted Co-based amorphous wires by twin-zone Joule annealing",* Journal of Alloys and Compounds *(*541)(2012)215-221.

[9] Domínguez L., Blanco J., Aragoneses P., González J., Valenzuela R., Vázquez M. and Hernando A., *"Circumferential magnetization processes in CoFeBSi wires,"* Journal of Magnetism and Magnetic Materials, (79)(1996) 6539.

[10] Dachs E., Benisek A*., "A sample-saving method for heat capacity measurements on powders using relaxation calorimetry"*, Cryogenics 52(8) (2011) 460-464.

[11] Simon P., Cibulková Z ., *"Measurement of Heat Capacity by Differential Scanning Calorimetry" .*(2003).

[12] Amirabadizade A., cheki fourg S., Rasouli M R., *"The effect of field-current annealing of cobalt-based amorphous corroeed ribbon magnet-impedance response",* The Annual Physics Conference of Iran (1396).

[13] Muraca D., Cremaschi V., Knobel M. & Sirkin H., *"Influence of Ge on magneticand structural properties of Joule-heated Co-based ribbons: Giant magnetoimpedance response"*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 320(15) (2008) 2068-2073.

[14] De La Prida., V M García Miquel., Á H, Kurlyandskaya G.,*"Wide-angle Magnetoimpedance field sensor based on two crossed amorphous ribbons"*, Sensors and Actuators A Physical 142(2) (2008) 496-502.

[15] Amirabadizadeh A., Tajabor N., Alinejad M.R., Pouraian F., *"The effect of substitution of Ni for Co on magnetostrictivestrain in GdCo4xNixB compounds"* Journal of Magnetism and Magnetic Materials,. 272–276 Part 3 (2004) 2081-2083.

[16] Tajabor N., Amirabadizadeh A., Alinejad M.R., Salamati H., Pouraian F., *"Anomalous behavior of temperature dependence of magnetostriction in NdFe11Ti",* Journal of

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]

[19] Smith R.L. & Sandland G.E., *"An Accurate Method of Determining the Hardness of Metals, with Particular Reference to Those of a High Degree of Hardness"*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Vol. I (1922) 623–641.

[20] Raufi T., Ehsani M.H., Sanovi Khoshnod D., *"Investigation of particle size effect on structural and magnetic properties of $La_{0.6}$ $Sr_{0.4}$ MnO_3 manganite"*, Irananin Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (4) (2017) 691-702.

Magnetism and Magnetic Materials 272–276 Part 3 (2004) 2093-2095.

[17] Gholizadeh A., Tajabor N., PourarianF., *"A comparative study of magnetostrictive strain in $Pr_3Fe_{24.75}Co_{2.75}Ti_{1.5}$-ingot and$Pr_3Fe_{24.75}Co_{2.75}Ti_{1.5}$-melt spun"*, Irananin Journal of Crystallography and Mineralogy 22 (1) (2014) 13-22.

[18] M. Victor., H. García-Miquel., and G. V. Kurlyandskaya., *"Wide-angle magnetoimpedance field sensor based on two crossed amorphous ribbons"*, Sensors and Actuators A: Physical, 142 (2) (2008) 496-502.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.2.495]